



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

**APLICACIONS PER A DISPOSITIUS MÒBILS
DISSENYADES PER A SUBJECTES AMB DISCROMATÒPSIES**

ROSER ANTONIO ALBESA

DIRECTOR/A: AURORA TORRENTS GÓMEZ

TERRASSA, 10 DE DESEMBRE DE 2015



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

La Sra. Aurora Torrents Gómez, com a director/a del treball,

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Roser Antonio Albesa ha realitzat sota la seva supervisió el treball APLICACIONS PER A DISPOSITIUS MÒBILS DISSENYADES PER A SUBJECTES AMB DISCROMATÒPSIES que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo/em aquest certificat.

Sra. Aurora Torrents Gómez
Director/a del treball

Terrassa, 10 de Desembre de 2015



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

APLICACIONS PER A DISPOSITIUS MÒBILS DISSENYADES PER A SUBJECTES AMB DISCROMATÒPSIES

RESUM

Aquest treball pretén fer un breu recull d'aplicacions per a dispositius mòbils dissenyades per a persones amb discromatòpsies. Classificar-les segons la seva funció, conèixer-ne les característiques i fer-ne una comparativa en funció de les seves prestacions i el dispositiu mòbil en què s'utilitza.

Per assolir els objectius establerts, es van utilitzar tres tipus de dispositius mòbils: ordinadors, tablets i mòbils amb els sistemes operatius d'Android, Windows i d'Apple. Mitjançant diferents cercadors s'han descarregat les aplicacions per conèixer de primera mà el seu funcionament i comparar-les.

La conclusió d'aquest treball es resumeix amb que una persona amb deficiència en la discriminació cromàtica es pot veure limitada en aspectes tant quotidians com laborals. Existeixen milers d'aplicacions dins d'aquest àmbit però no totes presenten les mateixes prestacions ni marge d'error. Llavors, amb l'ajuda d'aquestes aplicacions es pot entendre la seva percepció, ajudar a millorar les seves condicions visuals davant la discromatòpsia i fins i tot realitzar un pre-diagnòstic d'aquestes disfuncions del sistema visual. Davant múltiples factors que influeixen en l'eficàcia d'aquests recursos electrònics com són les característiques de l'objecte, el tipus de font de llum, les propietats del dispositiu mòbil i el propi sistema visual de l'observador, queda constància de que no són mètodes totalment infal·libles i mai poden substituir un examen visual complet realitzat per un professional de la visió.



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRIA

APLICACIONES PARA DISPOSITIVOS MÓVILES DISEÑADAS PARA SUJETOS CON DISCROMATOPSIAS

RESUMEN

Este trabajo pretende hacer un breve recopilatorio de aplicaciones para dispositivos móviles diseñadas para personas con discromatopsias. Clasificarlas según su función, describir las características de éstas y hacer una comparativa de sus prestaciones según el dispositivo móvil en el que se utiliza.

Para lograr los objetivos establecidos, se utilizaron tres tipos de soportes electrónicos: ordenadores, tablets y móviles con sistemas operativos Android, Windows y Apple. A través de distintos buscadores se descargaron las aplicaciones para conocer en primera persona su funcionamiento y poder compararlas.

La conclusión de este trabajo se resume en que una persona con deficiencia en la discriminación cromática se puede ver limitada tanto a nivel cotidiano como laboral. Existen miles de aplicaciones dentro de este ámbito pero no todas presentan las mismas prestaciones, interfaz, ni margen de error. Entonces, con la ayuda de estas aplicaciones se puede llegar a entender su percepción, ayudarles a mejorar sus impresiones visuales ante la discromatopsia y realizar un pre-diagnostico de estas disfunciones del sistema visual. Ante múltiples factores que influyen en la eficacia de estos recursos electrónicos como por ejemplo las características del objeto, la fuente de luz que incide en él, las propiedades del dispositivo móvil y el propio sistema visual del observador, queda constancia de que no se trata de métodos totalmente infalibles y que nunca pueden sustituir un examen visual completo de un profesional de la visión.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

MOBILE DEVICES APPLICATIONS DESIGNED FOR SUBJECTS WITH DYSCROMATOPSIA

ABSTRACT

The aim of this project is to make a brief compilation of mobile device applications designed for subjects with dyschromatopsia. To classify them according to their function, to describe their characteristics and make a comparison of its performance according to the mobile device which it is being used.

To achieve the objectives proposed, we used three types of electronic device: computers, tablets and mobile phones with Android, Windows and Apple operating systems. Through various search engines, we have downloaded the applications to know personally how they operate and make a comparison between them.

The conclusion of this project is that a subject with abnormal chromatic vision may have limitations with both daily life and work. There exist thousands of applications among this area, but not all of them present the same features, interface, or range of error. So, with the use of these type of applications, the perception of these subjects will be better understood, it can help them improve their visual perceptions with dyschromatopsia and realize a pre-diagnostic of these visual dysfunctions. Due to the wide range of factors that may influence the effectiveness of these electronic resources, such as the characteristics of the object, the type of lighting on the device, the mobile device properties and the observer's visual system, we can prove that they aren't a completely reliable methods and that it can never replace a full visual examination of an eye care professional.



ENGLISH SUMMARY

Theoretical framework

Color perception is a fascinating phenomena of physical and chemical reactions which allow some organisms to see in color. Colour is not a physical attribute of an object. Scientifically, colour is defined as the sensory characteristic, which produces scattering of different wavelengths when it reaches our eye and afterwards, the mind interpretation.

So, the essential element of the vision process is the light. Initially, the view process begins when the light goes through the structures of the eye, this information is coded and subsequently transferred through the optic nerve to the brain, who is responsible for the interpretation and generation of the final perception.

Light is a set of electromagnetic waves that propagate through a medium. The human eye only perceives a small part of the electromagnetic spectrum, which goes from 480 to 780nm corresponding to the visible spectrum. The different visual pigments will absorb these wavelengths.

The perception of the colour depends on several factors:

- The object's characteristics.
- The source of light which impacts on the object.
- The observer's visual system.

The normal colour vision requires three types of cones in the retina (normal trichromat). Each cone is responsible for the absorption of one part of the spectrum according to their photopigment: eritrolabe (cone L), clorolabe (cone M) and cianolabe (cone S).

Color deficiencies have different naming depending on the absence of photoreceptors in the retina. These deficiencies are classified mainly into three categories:

- *Trichromats*: they have got three types of cones in the retina. They could be normal trichromats or presenting some anomaly.
- *Dichromats*: these individuals have got only two functional types of cones in the retina.
- *Monochromats*: they have got only one type of cone.

We have to define these alterations in colour vision or dyschromatopsia, and they can be congenital or acquired.

Congenital anomalies are classified as:

- *Anomalous trichromacy* (three types of cones in the retina, but one of them is abnormal):
 - Protanomaly (cone L anomalous)
 - Deuteranomaly (cone M anomalous)



- Tritanomaly (cone S anomalous)
- *Dichromacy* (absence of a type of cone in the retina)
 - Protanopia (cone L absent)
 - Deuteranopia (cone M absent)
 - Tritanopia (cone S absent)
- *Monochromacy* (presence of a single type of cone in the retina, usually S-type)
- *Achromatopsia* (absence of cones in the retina, rods only)

Acquired abnormalities can be due to diseases of the retina, the macula, optic nerve or chiasm, vitreous hemorrhage, CO₂ poisoning, fungus, alcohol, amphetamines or drugs. The end colour perception is not related to the reality, these types of deficiencies in some cases may be reversible.

Currently, the field of molecular biology has allowed us to relate the deficiencies in colour vision genetics, to know specifically what are the affected genes and why some defects are more common in men than in women.

Approximately 4.5% of the population have some colour vision deficiency. It seems that around 8% of the male population and about 0.4% of the women have colour vision deficiency in the red-green type. This type of genetic defect is almost always linked to sex, for these reasons men are more affected than women. However, in blue deficiency type, there is the same probability that both men and women can suffer it because it is the most likely acquired type. Prevalence is less than 1/100000 people approximately.

Within of different types of dyschromatopsia, abnormal trichromathy is more frequent than dichromathy. In male population, the deuteranomaly represents 5% and protanomaly, deuteranopia and protanopia 1%.

Good colour discrimination is very important in many professions, and in fact, in many daily tasks. Colour vision defects may be a risk factor or severe disability. At school stage, the colour vision is used as a tool of communication and support in learning process. So, a person with this disability might have problems with the learning process. For this reason, we recommend a visual review on children 5-6 years old.

Nowadays, with the advancement of technology there has been digitized many techniques and have appeared electronic resources (mobile devices applications) for subjects with dyschromatopsia. These digital media has allowed us to reach a diagnosis, to understand how they perceive the world and it help them perform tasks that require good colour discrimination in subjects with this profile.



Objectives

This work aims to achieve the following objectives:

- To know the different applications related to colour vision and its operation.
- To determine the usefulness, efficiency and negative aspects of different applications for mobile devices designed for subjects with dyschromatopsia.
- To compare the functionality of an application on different mobile devices.
- To discover external factors which influence the effectiveness of applications.

Methodology

To achieve the objectives, the body of work is dedicated to collect different applications with the aim of simulating, helping or diagnosing an observer with poor color discrimination. In order to know the different electronic resources, we drafted descriptive tables for the applications for mobile phones, tablets and computers. These are accompanied by a brief critical to make more understanding the benefits of these.

To work and experiment with these applications, we used Apple mobile devices: Mac laptop, Ipad version OS X and Iphone with iOS 9.1 software. Moreover, we used a computer with operating system Windows 10, tablet with Android 5.0, and mobile phone Android 5.0.

In order to work, we had to download the applications by using seekers online, for example, App Store for Apple devices or Google Play for Android devices, although there were not official pages where you could also download some applications. The majority of computer applications can be found in web pages related to optometry, ophthalmology, scientific articles, etc. which allows to use applications interactively. Almost all them are free and we could download them and get familiar with them.

To research the applications, we have used terminologies related to dyschromatopsia, mainly in English, which it has been collected in a keyword section.

Applications for mobile devices

In this section we describe the results of the applications designed for subjects with dyschromatopsia classifying them by its function:

1. Dyschromatopsia simulators: applications that allow to represent the final perception of a person with dyschromatopsia by editing an image.
2. Aids to distinguish and name colours correctly.
3. Dyschromatopsia detector types: tests used in clinical digitized.



4. Mixed.

To understand better how these applications work, we have defined the term of augmented reality. The augmented reality is the superposition of visual information about real surroundings through an application called digital support, so consequently it is possible to combine the real visual information with the added information, so that it is possible to reach to a different final perception. The difference between realities is that this one puts the individual into an artificial environment.

Considering the experimental procedure done and the characteristics of the applications and the personal experience, the most similar to complete and perfection simulator is the one called "*Idaltonizer*". It is the application with more functions to simulate dyschromatopsia, but it is not public (2.99E). It allows detecting the severity of the dysfunction of the discrimination, to increase the image in case it is necessary if it is compatible with the use of flash (when illumination is not bright enough and the disposable allows it), and even also allows introducing filters to the images.

As with the other simulators, it presents a divided screen where it presents the image at real time or with images of an observed scene by a normal trichromat, and even a three division more where you can observe the simulation of a dyschromatopsia, the helping filter, and the final corrected simulation.

For the applications that are used to help individuals with colour vision deficiencies, we would highlight "*Colour blindness correction*" (only disposable in applications Android with a cost of 1.49E). Is the most completed application, as it allows working in real time (others do not stand it). Not only allows to vary gradually the corrector filters, but also to highlight the edges of the objects. This two last options are very useful because as it has been mentioned before, there exist different degrees of severity for the deficiency. A contrast variation increases the discrimination of the edges, so it allows to recognise easily the edge of the shapes presented. It also mentions the name of the colour which is being presented in the region selected in the screen, although, as it happens with the other devices, is exists a range error with the lightning of the objects and the camera quality device.

Finally, we believe that the most complete test digitalized and the most affordable application for everyone is "*Online Colour Challenge*". Leaving aside that is free and can be used from any Internet-connected device, it gives you an idea of reference dyschromatopsia and the degree of severity of the observer. The fact that is needed a higher range of tonalities to make the diagnosis tan it does "*Colour Arrangement test*", I believe that it slightly increases its reliability. Moreover, It also has a database to compare the results according to age and sex of the individual. And finally, to highlight the high risk of error results due to all the factors that can change the colour tone, for which it has been designed the application.

Conclusions

A person with dyschromatopsia presents an absence of one of the three photopigments existing in the retina or an anomaly of them, causing poor colour discrimination or distortion of it. These individuals are limited when it comes to housework and in some cases even with the professional field if required. The impediments that reduce the quality of life of these observers have lead to the development of applications for mobile devices associated with this deficiency with different objectives.



However, we must take into account the many factors that can alter the results of applications, reduce their reliability, etc. In the same way that traditional tests have to be presented to patients under certain conditions, applications are designed to be efficient under specific characteristics of the screen position, the observer and the lighting of the room. This may decrease the effectiveness of the application and consequently the results may be falsified. Although these risk factors can hamper performance, it is important to know these resources when working, diagnosing and improving the life of people with abnormal colour vision.

For the reasons mentioned above, screening of an application can never replace a full vision review of a professional as they work under a common set criteria and assess other aspects that may also be affected.

There are thousands of applications for this field, but within the same groups for which have been classified (simulators, grants and tests) not all do present the same benefits and many of them are constrained by the same camera quality of the device (the input mobile device) and screen itself (output mobile device). Note that in some cases, depending on the device for which the application has been designed (Android, Apple, online) and the criteria of its creator, is free or not, and to download the same application on different devices (phone, tablet, computer) may have different interfaces.



AGRAÏMENTS

En primer lloc, vull agrair a la meva directora del treball, Aurora Torrents, pel seu suport, ànims i dedicació en aquest treball.

A la meva família, per estar sempre al meu costat, per tot el que fan dia rere dia per mi i ajudar-me arribar fins aquí.

Per últim, però no menys important, als meus amics, per acompanyar-me en cada pas fent-ho tot més fàcil.

De tot cor, moltes gràcies.



ÍNDEX

1. Introducció.....	1
1.1. Estructures que permeten la visió del color.....	2
1.2. Discromatòpsies o anomalies en la visió del color.....	3
1.2.1. Percepció dels observadors amb discromatòpsies.....	4
1.3. Repercussió de l'alteració de la visió del color.....	5
1.4. Avaluació de la visió del color-Tests.....	6
2. Objectius.....	10
3. Metodologia.....	10
4. Aplicacions per a dispositius mòbils.....	11
4.1. Simuladors.....	12
4.2. Ajudes per persones amb discromatòpsia.....	16
4.3. Tests de diagnòstic.....	19
5. Conclusions	22
6. Bibliografia i recursos electrònics.....	24
7. Annexes.....	27

1. INTRODUCCIÓ

La percepció dels colors és una sèrie de reaccions físiques i químiques que es donen al sistema visual. El color no és un atribut físic d'un objecte. Científicament es defineix el color com la característica sensorial que produeix la dispersió de diferents longituds d'ona que arriben al nostre ull i la interpretació d'aquests. Llavors, l'element essencial per desenvolupar el procés de la visió és la llum. Inicialment entra a través de les estructures de l'ull on comença el procés de visió, aquesta informació es codifica i posteriorment, es transferida a través del nervi òptic al cervell, que serà l'encarregat d'interpretar-la i generar la percepció final.

La llum és un conjunt d'ones electromagnètiques que es propaguen a través d'un medi. De tot l'espectre electromagnètic, l'ull humà només percep una petita part compresa entre les longituds d'ona de 480-780nm (espectre visible) les quals seran absorbides pels diferents pigments visuals dels fotoreceptors.

Per tal d'arribar a aquesta impressió, el color que percebem depèn de diferents factors:

- Les característiques de l'objecte. La forma, la textura, l'espai que l'envolta, el contrast, etc. donen informació de les característiques intrínseques d'aquest.
- La font de llum que incideix en l'objecte. Segons les característiques de la il·luminació de la sala, el tipus de font de llum, la temperatura del color d'aquesta, la posició, etc.
- El sistema visual de l'observador. Com que es tracta d'una impressió subjectiva cada individu pot percebre un mateix objecte amb diferent tonalitat segons la funcionalitat dels cons que té.

La visió del color normal és regida per l'existència de tres tipus de cons a la retina. Cadascun d'aquests s'encarrega de l'absorció d'una part de l'espectre diferent en funció del seu fotopigment. Els fotopigments estan compostos pel mateix tipus de retinal que els bastons i per tres tipus diferents d'opsines anomenades fotopsines: *eritrolabo*, *clorolabo* i *cianolabo* que els contenen els cons S, M i L respectivament.

Una visió *tricromàtica normal* requereix d'una barreja additiva dels tres colors primaris (fotopigments) per tal d'igualar (metameritzar) l'efecte visual que produeixen la majoria de longituds d'ona de l'espectre visible.

No obstant, no totes les persones posseeixen els tres tipus de fotopigments. Alguns individus són incapaços de percebre de manera absoluta certs colors, mentre que d'altres només mostren dificultat en reconèixer-los. Les alteracions en la percepció del color s'anomenen *discromatòpsies*. Existeixen tres tipus d'alteracions en funció de la deficiència dels fotopigments:

- Deficiència cromàtica severa: un fotopigment determinat no reacciona.
- Anomalia cromàtica: mostra una alteració en el seu màxim d'absorció degut a una mutació genètica que causa la substitució d'alguns aminoàcids.
- Acromatòpsia: els tres cons careixen de fotopigment, i per tant l'individu no percep colors.

En funció de quin o quins siguin els fotoreceptors absents en la retina, la deficiència cromàtica rep un nom diferent, que es veurà més endavant.

Les persones en visió cromàtica normal no sempre són conscients de l'alteració o la restricció de tasques que suposa aquest defecte a una persona amb discromatòpsia.

Una cosa tant senzilla com ens pot semblar escollir el color de la roba, distingir i interpretar senyals o objectes durant la conducció, pot convertir-se en una tasca molt difícil en els dicromates i afectar, encara que no tant significativament, els tricromates anòmals. En alguns casos, fins i tot pot afectar la vida laboral ja que en algunes professions és motiu d'exclusió.

Actualment amb l'avenç de la tecnologia s'ha arribat a la digitalització de moltes tècniques on han aparegut recursos electrònics (aplicacions per a dispositius mòbils) per a persones que pateixen aquests defectes cromàtics. Els suports digitals han permès arribar a un diagnòstic, entendre com perceben el món i ajudar realitzar tasques que requereixen d'una bona distinció cromàtica a individus d'aquest perfil.

1.1. ESTRUCTURES QUE PERMETEN LA VISIÓ DEL COLOR

En la visió, la qualitat de la percepció final es refereix a la codificació de les longituds d'ona absorbides. La determinació d'aquesta qualitat és molt senzilla ja que s'estén dins un continu de longituds d'ona de l'espectre visible. La informació que rep el sistema visual sobre el color d'un objecte depèn de la reflexió i refracció selectiva de les longituds d'ona de la llum incident sobre ell, dels fotoreceptors presents a la retina de l'observador i de l'entorn que envolta l'objecte (contrast cromàtic). Aquests factors provocaran finalment que s'atorgui un nom a l'estimulació visual rebuda al cervell.

A l'edat de 4-5 anys és quan s'aprèn a relacionar l'estímul percebut amb una paraula, així que es pot estudiar la visió cromàtica en nens a partir d'aquesta edat emprant el test adequat pel seu desenvolupament cognitiu. (Reese i Lipsitt, 1978)

La visió cromàtica considerada normal és *tricròmata* (tres tipus de cons).

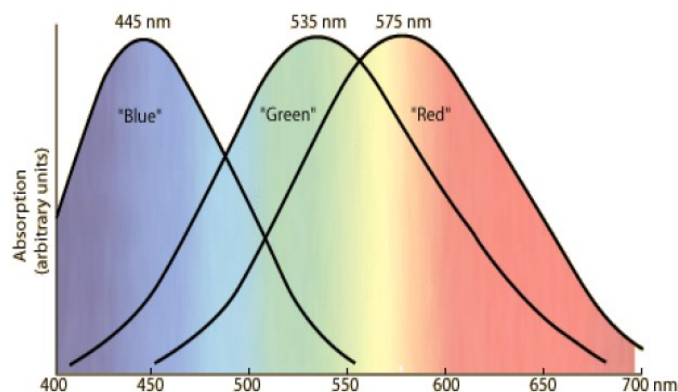


Figura 1. Corba d'absorció dels cons S, M i L.

- Cons S (*cianolabo*): El seu espectre d'absorció s'estén des dels 370-530nm (absorbeixen longituds d'ona curtes). El punt de màxima absorció es troba en els 440nm (blau).
- Cons M (*clorolabo*): Són sensibles a longituds d'ona d'entre 430 i 620nm mostrant un pic d'absorció al voltant dels 534nm, que correspon al color verd.
- Cons L (*eritrolabo*): Aquests tipus de cons tenen la sensibilitat en les longituds d'ona llargues de l'espectre visible (450-780nm) amb una sensibilitat màxima als 575nm (vermell).

1.2. DISCROMATÒPSIES O ANOMALIES EN LA VISIÓ DEL COLOR

En la pràctica de la clínica habitual ens podem trobar davant nombrosos pacients amb anomalies de la visió del color. Aquestes deficiències es classifiquen bàsicament en tres categories:

- *Tricròmates*: disposen de tres tipus de cons a la retina, essent tricròmates normals o presentant alguna anomalia.
- *Dicròmates*: aquests individus només disposen de dos tipus de cons funcionals a la retina.
- *Monocròmates*: únicament presenten un tipus de con.

Després de la classificació dels individus en funció de la quantitat de cons funcionals que disposen, queda definir breument aquestes alteracions de la visió del color o discromatòpsies essent aquestes congènites o adquirides. (Artigas et al.1995).

S'utilitzen els termes *protan-*, *deutan-* i *tritan-* per referir el fotopigment afectat. Per referir si es tracta d'un tricròmata o un dicròmata utilitzem els sufixes *-anòmal* (tres fotopigments, un amb l'absorció de longitud d'ona desplaçada) o *-anop* (absència d'un fotopigment).

Classifiquem les anomalies congènites amb:

- Tricromatòpsies anòmales (tres tipus de cons a la retina, però un és anòmal, és a dir):
 - *Protanomalía* (cons L afectats, no eritrolabo)
 - *Deutanomalía* (cons M afectats, no clorolabo)
 - *Tritanomalía* (cons S afectats, no cianolabo)
- Dicromatòpsies (dos tipus de cons a la retina):
 - *Protanopia* (cons L absents)
 - *Deuteranopia* (cons M absents)
 - *Tritanopia* (cons S absents)
- Monocromatòpsies (un sol con a la retina, normalment cons S)
- Acromatòpsia (absència de cons a la retina, únicament hi ha bastons)

D'altra banda les anomalies adquirides poden ser conseqüència de patologies a la retina, màcula, nervi òptic o quiasma, hemorràgies de vitri, intoxicacions per CO₂, bolets, alcohol, amfetamines o medicaments. La percepció del color resultant no té relació amb la real, aquests tipus de deficiències en alguns casos poden ser reversibles.

Actualment, el camp de la biologia molecular ens ha permès relacionar les deficiències de la visió del color amb la genètica, és a dir, quins són els gens que es veuen afectats i per què alguns defectes són més freqüents en els homes que en les dones.

Aproximadament el 4,5% de la població té alguna deficiència en la visió del color. El fet d'anar lligat al cromosoma X fa que la deficiència del color vermell-verd sigui hereditari (congènit) amb major prevalença als homes (8%) que en les dones (0,4%).

La raó per la qual es dona més en homes és degut que el cromosoma X no disposa de l'homòleg (el cromosoma Y que marca el sexe masculí és més curt) i l'anomalia es manifesta. Contràriament passa en el cas de les dones (XX), ja que les deficiències són de caràcter recessiu. Llavors pot ser portadora de la deficiència i no manifestar-la. (Hood et al.2006).

D'altra banda, els defectes del color blau (tipus autosòmic) són típicament adquirits.

Dins de les discromatòpsies, les tricromatòpsies anòmales són més freqüents que les dicromatòpsies. En la població masculina, la deuteranomalía representa un 5% i la protanomalía, deuteranopia i protanopia un 1% cadascuna. (Birch,1993).

Les anomalies en la visió del color blau són de tipus autosòmic i normalment adquirits, per aquest motiu presenten la mateixa probabilitat de patir-la les dones que els homes. Cal destacar que la tritanopia i la tritanomalia són les menys freqüents amb una prevalença inferior a 1/100000 persones. (Urbia,1996).

1.2.1. Percepció dels observadors amb discromatòpsies

Les persones amb deficiències de la visió del color poden reconèixer satisfactòriament molts colors degut a que s'ajuden d'altres característiques dels objectes com són la forma, lluminositat, context, etc.

Els dicromates tipus protanops i deuteranops actuen com a monocròmats a partir de longituds d'ona d'uns 545nm. Conseqüentment, en aquesta regió la seva percepció dels colors es basa amb la luminància.

A continuació es mostra una representació de la interpretació dels colors de l'espectre visible d'un tricròmata normal els quals poden distingir tots els colors d'entre 480-780nm.

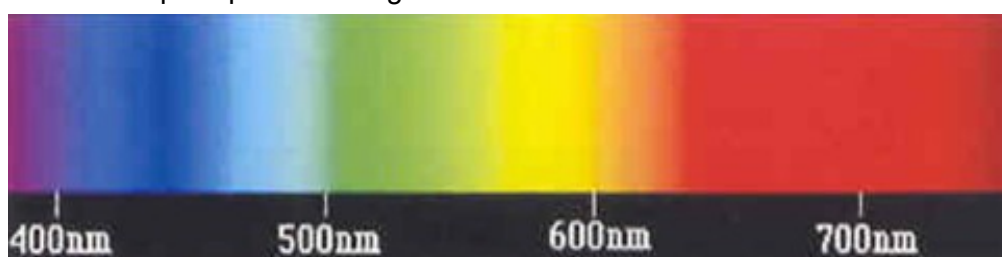


Figura 2. Espectre visible d'un tricròmata normal.

Els dicromates tipus protanops i deuteranops actuen com a monocròmats a partir de longituds d'ona d'uns 545nm. Conseqüentment, en aquesta regió la seva percepció dels colors es basa amb la luminància.



Figura 3. Espectre visible d'un protanop o deuteranop.

Quan ens trobem davant un tritanop, veiem que confonen estímuls similars als 400nm (blau-violeta) amb estímuls grocs-blaus. El punt neutre (on és confon el color amb blanc) es troba al voltant dels 569nm.

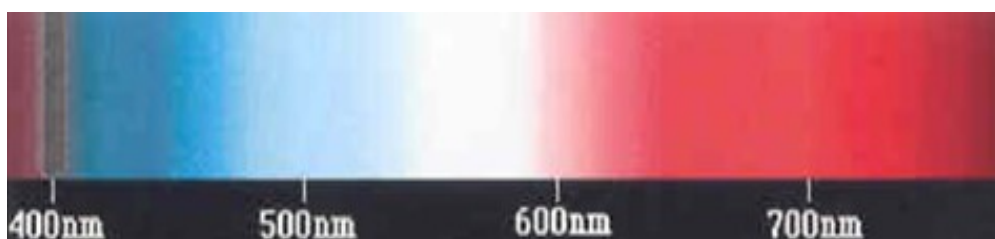


Figura 4. Espectre visible d'un tritanop.

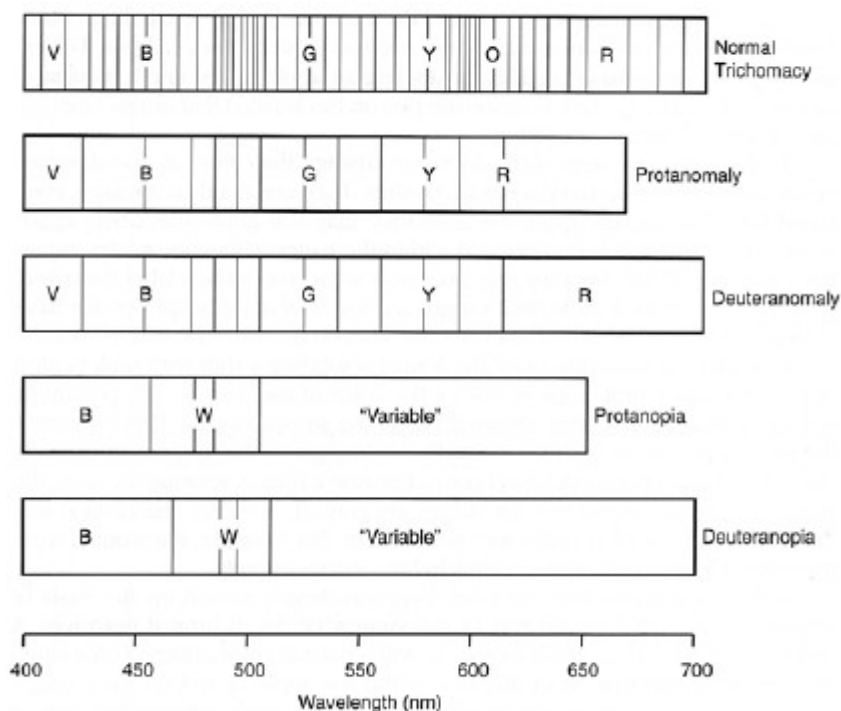


Figura 5. Comparació de l'espectre d'absorció en observadors amb discromatòpies.

En la figura anterior, es mostra una comparativa de la discriminació de longituds d'ona en funció de la discromatòpia. La densitat de les ratlles verticals indica la discriminació. En el primer cas, un tricròmata normal, observem que hi ha més densitat de ratlles entre els 490 i 590nm. Per als protanops i deuteranops, l'espectre visible es divideix fonamentalment en dues franges separades pel punt neutre, (blaus i longituds d'ona llargues) en la que els dicròmates es comporten com a monocròmates. Cal destacar que entre aquests dos dicròmates existeix una diferència de discriminació: l'espectre visible d'un protanop acaba abans que el d'un deuteranop degut a la manca d'eritrolabo. Si ens fixem en l'espectre visible d'un deuteranòmal i un protanòmal, s'observa una discriminació cromàtica superior als dicròmates però inferior a un tricròmata normal.

1.3. Repercussió de l'alteració en la visió dels colors

Una bona discriminació cromàtica és important en moltes professions i, de fet, en moltes tasques del dia a dia. Els defectes de la visió del color poden ser un factor de risc o discapacitat greu. En l'etapa preescolar i escolar, la visió del color cada cop s'utilitza més com una eina de comunicació i aprenentatge. Llavors, una persona amb aquesta capacitat alterada també es pot veure afectada en el procés d'aprenentatge, motiu pel qual és recomanable una revisió en nens de 5-6 anys. En perspectives de futur, el nombre de professions que es basen en codis de color per realitzar tasques s'espera que creixi, mentre que moltes d'aquestes augmenten la complexitat influenciades per les noves tecnologies i per normes més estrictes. Un dels aspectes on la visió del color és fonamental és per la seguretat del personal o del medi ambient. Senyals, advertències o codificacions que s'utilitzen en alguns productes, així com en la seguretat vial, són alguns dels exemples. De la mateixa manera, les llums de color freqüentment són indicadors de posició o situació. Per exemple, els semàfors poden ser interpretats per una persona amb discromatòpia gràcies a la seva inclinació vertical, llavors, l'observador es basa amb la posició que s'il·lumina. Malauradament en alguns casos el semàfors es troben en sentit horitzontal i canvien l'ordre de les

llums. Altres casos on és indispensable una bona visió del color és en el cos de bombers, per detectar nivells de gasos i substàncies químiques, policies, transportistes, etc.

Degut a aquesta demanda visual, ha aparegut un increment de la necessitat de cribatges per assegurar que el personal qualificat disposa d'un correcte funcionament del sistema visual en quant a la visió del color. Gràcies a la interpretació dels resultats s'han anat adaptant tasques per permetre que una persona amb un grau de discapacitat en la visió del color pugui dur-les a terme sense representar cap risc laboral.

1.4. Avaluació de la visió del color-Tests

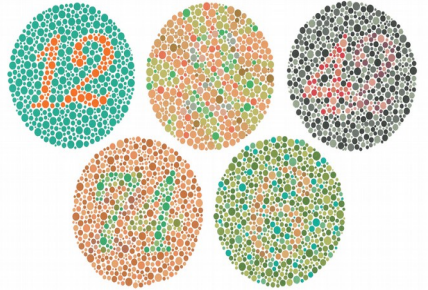
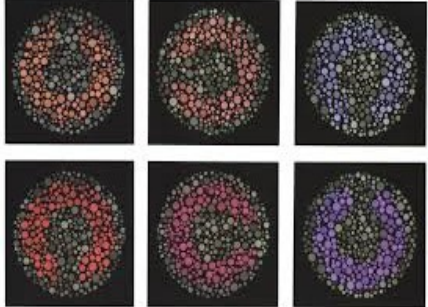
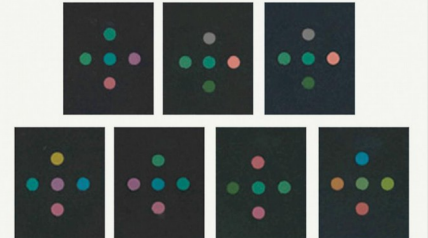
En aquests apartat es descriu els diferents mètodes d'avaluar la visió del color. Quan un professional de la visió avalua la discriminació cromàtica ha de tenir present els objectius de les proves: (Dain,2004)




- Detecció o "screening": identifiquen ràpidament una anomalia. (visió normal/visió anòmal)
- Diagnòstic del tipus i grau de severitat de la deficiència del color. (protan-, deuteran-, tritan) (dicròmata/tricròmata anòmal).
- Valoració de la influència de la deficiència en una ocupació. (professions que requereixen d'una condició de visió del color específica).




Els tests més utilitzats es classifiquen en quatre grups:

1. Làmines pseudoisocromàtiques o de "confusió". Presenten un conjunt de punts de colors que formen una figura (estímul). El colors són seleccionats detalladament per què es trobin sobre les línies de confusió on només siguin visibles per a persones que no presenten anomalies en la visió del color, o bé que un observador anòmal ho identifiqui diferent. Alguns d'aquests tests són: *Ishihara*, *Ohkuma*, *City University Colour Vision Test* i el *Tritan Album de Lanthony*.
2. Test d'ordenació. L'observador ha d'ordenar intuïtivament els colors basant-se en la tonalitat, o agrupar-los amb el criteri d'algun atribut. Alguns dels tests són: *Farnsworth-Munsell D15*, *Farnsworth-Munsell-100* i el *Standard Pseudoisochromatic Plates*.
3. "Matching test". L'observador ha d'ajustar dos colors fins igualar-los, com per exemple en el cas dels *anomaloscòpis*.
4. Proves d'anomenar. L'individu ha de nombrar correctament el color i/o respondre amb una acció apropiada sense necessitat de nombrar el color. Aquest mètode s'utilitza en les llums de la *llanterna de Farnsworth*.

A continuació s'adjunta una taula comparativa amb les característiques dels tests esmentats.

Test	Grup	Tricròmata anòmal/dicròmata	Habilitat per classificar	Edat	Amb què consisteix?	Imatge
<i>Ishihara</i>	Làmines pseudoisocromàtiques	No distingeix	Protan-Deuteran-	A partir dels 3 anys	L'observador ha d'intentar identificar les figures que apareixen a les làmines. En funció dels errors és classifica el tipus de discromatòpsia.	
<i>Ohkuma</i>	Làmines pseudoisocromàtiques	No distingeix	Protan-Deuteran-	A partir dels 3 anys	L'observador ha d'indicar cap on està oberta la "C". En funció dels color que no reconeix es classifica la disfunció de discriminació cromàtica.	
<i>City University Colour Vision Test</i>	Làmines pseudoisocromàtiques	No distingeix	Protan-Deuteran-Tritan-	A partir dels 4-5 anys	L'observador ha d'indicar quin dels quatre punts és més similar al del centre. En funció dels errors en la resposta és classificarà la discromatòpsia.	

<i>Tritan Album Lanthony</i>	Làmines pseudoisocromàtiques	No distingeix	Tritan-	A partir dels 4-5 anys	L'observador ha d'intentar localitzar el quadrat púrpura que cada cop disminueix de saturació. Segons la capacitat de discriminació de les làmines classifica la severitat de discromatòpsia.	
<i>Farnsworth- Munsell D15</i>	Test d'ordenació	No distingeix	Protan- Deuteran- Tritan-	A partir dels 7 anys	L'observador ha d'ordenar intuïtivament els colors. En funció dels errors, és compara amb patrons establerts de les discromatòpsies.	
<i>Farnsworth- Munsell 100</i>	Test d'ordenació	No distingeix	Protan- Deuteran- Tritan-	A partir dels 7 anys	L'observador ha d'ordenar intuïtivament els colors. En funció dels errors, és compara amb patrons establerts de les discromatòpsies. Pot identificar el grau de severitat de la deficiència.	

<i>Standard Pseudoisochromatic Plates</i>	Test d'ordenació	No distingeix	Protan-Deuteran-Tritan-	A partir dels 7 anys	L'individu ha d'ordenar les figures. En funció dels errors és classificarà segons un patró.	
<i>Anomaloscopi</i>	Matching test	Distingeix	Protan-Deuteran-Tritan-	A partir dels 7 anys	Mitjançant un semicercle de referència, l'individu variarà la quantitat de colors de l'altre semicercle per igualar la tonalitat. En funció del percentatge de cada color utilitzat per metameritzar és classificarà la discromatòpsia.	
<i>Llanterna de Farnsworth</i>	Proves d'anomenar	No distingeix	Protan-Deuteran-	A partir dels 4-5 anys	L'observador ha d'identificar almenys 20 colors amb una successió ràpida en condicions de llum dia, amb poca llum i a la foscor.	

2. OBJECTIUS

Degut a la clara repercussió que pot tenir una deficiència de la visió del color ja sigui en la vida quotidiana o fins i tot en la vida professional, molts subjectes discromatops es veuen limitats. Llavors, per procurar facilitar certes tasques a persones amb discriminació cromàtica deficient, paral·lelament als avenços tecnològics han aparegut aplicacions per a dispositius mòbils amb l'objectiu de diagnosticar, simular o ajudar a aquests observadors amb problemes, per tal d'augmentar la seva autonomia o fins i tot ampliar la possibilitat de realitzar tasques determinades on la discriminació cromàtica és essencial. Aquest treball pretén, doncs, assolir els següents objectius.

- Conèixer diferents aplicacions relacionades amb la visió del color i el seu funcionament.
- Determinar la utilitat, el grau d'eficiència i carències de diverses aplicacions per a dispositius mòbils dissenyades per a subjectes amb anomalies de la visió cromàtica.
- Comparar la funcionalitat d'una mateixa aplicació en diferents dispositius mòbils.
- Conèixer els factors externs que poden influir en l'eficiència de les aplicacions.

3. METODOLOGIA

Per poder assolir els objectius, el cos del treball va dedicat a un recull de diferents aplicacions amb l'objectiu de simular, ajudar o diagnosticar un observador amb discriminació cromàtica deficient. Per conèixer els diferents recursos electrònics, s'ha realitzat taules descriptives de les diferents aplicacions per a mòbils, tablets i ordinadors acompanyades d'una crítica breu per conèixer-ne les diferents prestacions.

Per poder treballar i experimentar amb les diferents aplicacions s'ha utilitzat com a dispositius mòbils d'Apple un ordinador portàtil Mac i un Ipad amb versió OS X, un Iphone amb software IOS 9.1. D'altra banda s'ha utilitzat un ordinador de sobretaula amb sistema operatiu Windows 10, una tablet amb sistema operatiu Android 5.0 i un telèfon mòbil Android 5.0.

Per realitzar el treball i descarregar les aplicacions, s'han realitzat les recerques mitjançant buscadors com l'App Store per dispositius d'Apple (tant mòbil, tablet i ordinador) i el Google Play per a dispositius Android, tot i que a través de pàgines no oficials també podies descarregar-ne. Per aplicacions de l'ordinador la majoria es troben *online*¹ en pàgines relacionades amb l'optometria, l'oftalmologia, la fotografia, articles científics, etc. les quals permeten realitzar els tests, simuladors o ajuts interactivament. La majoria de les aplicacions són gratuïtes i les he pogut descarregar per conèixer de primera mà el seu funcionament. Per buscar les diferents aplicacions s'ha utilitzat terminologies relacionades amb les discromatòpsies, principalment en anglès, les quals s'han anat recollint en un apartat de paraules clau de cerca.

¹ *Online*: en línia.

4. APLICACIONS PER A DISPOSITIUS MÒBILS

En aquest apartat es presenta el resultat de la recerca d'una mostra d'aplicacions per a discromatops. Abans, però, classificarem les aplicacions segons la seva funció:

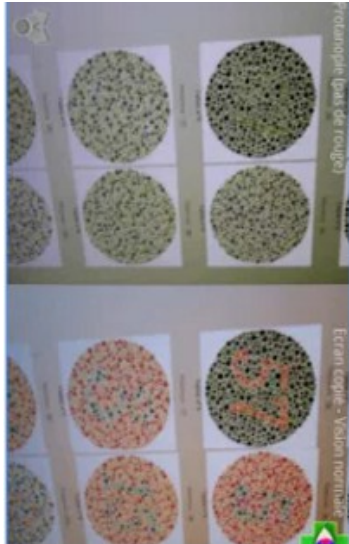


1. Simuladors de discromatòpsies: aplicacions que permeten representar la percepció final d'una persona amb discromatòpsia editant una fotografia.
2. Ajudes per diferenciar i anomenar correctament els colors.
3. Detectores dels tipus de discromatòpsia: tests emprats en clínica digitalitzats.
4. Mixtes.

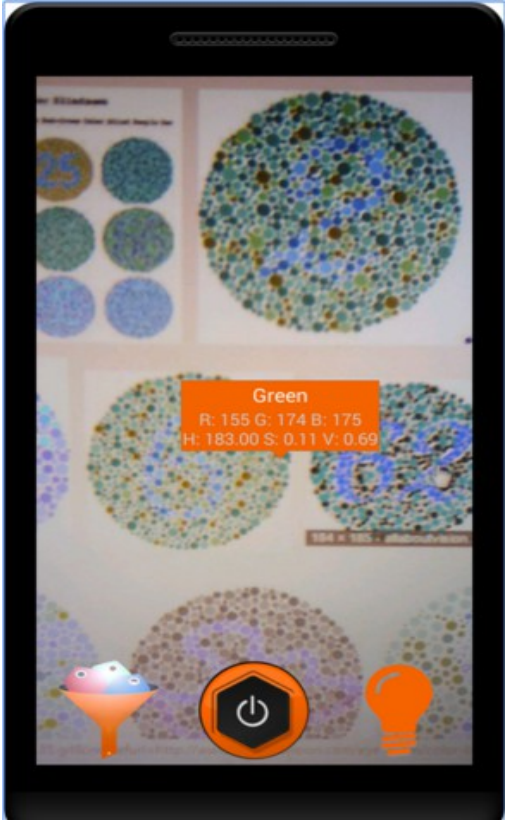
Per entendre millor el funcionament de les aplicacions hem de definir el terme *realitat augmentada*. La realitat augmentada és la superposició d'informació virtual sobre entorns reals a través d'una aplicació (suport digital). D'aquesta manera, es pot combinar la informació de la visió real amb la informació afegida per arribar a una percepció final diferent. La diferència amb la realitat virtual és que aquesta submergeix a l'usuari en un ambient completament artificial.


Hem de tenir en compte els inconvenients d'utilitzar dispositius electrònics. Recordem que per formar totes les tonalitats de colors, les pantalles utilitzen tres colors principals (vermell-R, verd-G i blau-B) de forma anàloga als cons. Llavors, en instruments com l'anomaloscopi o la llanterna de Farnsworth els resultats es poden veure alterats. Una altra cosa a tenir present és que cada pantalla presenta una resolució, contrast, saturació i lluminositat diferent, per aquest motiu és essencial calibrar els dispositius sota les condicions amb les quals han estat dissenyades les aplicacions per poder equiparar els resultats. A més a més, la qualitat i característiques de la imatge presentada en la pantalla també dependrà de les propietats intrínseques de la càmera del dispositiu i la posició de l'observador.

Començaré parlant de les aplicacions que simulen les discromatòpsies.

4.1. SIMULADORS

APP	OPCIONES	COM FUNCIONA?	DISPONIBILITAT	PREU	IMATGES
<i>Daltonizer</i>	Simulador de dicromatòpsies a temps real a través de la càmera del dispositiu. També disposa de l'opció de realitzar el test d'Ishihara i simular com un veuria un dicròmata.	A través d'una pantalla dividida disposes de la mateixa escena representant la percepció d'un protanop, deuteranop o tritanop i d'un tricròmata normal.	Android (mòbil i tablet) No disponible per ordinadors.	Gratuït	 
<i>Color blindness simulator</i>	Simulador de dicromatòpsies, tricròmates anòmals i monocròmates.	Aplicació <i>online</i> que pujant qualsevol imatge, la processa simulant la percepció d'un tipus de discromatop.	Android (mòbil i tablet) Ordinador Apple (mòbil, tablet i ordinadors)	Gratuït	

<p><i>Color Blind Aid</i></p>	<p>Aplicació amb doble finalitat: simulador i ajut per persones amb discromatòpsies.</p>	<p>A través de la càmera del dispositiu captura escenes a temps real les quals poden ser processades amb l'objectiu de simular alguna deficiència de la visió del color o bé introduir filtres per ajudar a reconèixer i diferenciar alguns objectes correctament.</p>	<p>Android (mòbil i tablet) No compatible en Apple</p>	<p>Gratuït</p>	
-------------------------------	--	--	---	----------------	---

<p><i>Chromatic vision simulator</i></p>	<p>Simulador a temps real de protanops, deuteranops i tritanops. No simula monocromatisme.</p>	<p>Amb la càmera del dispositiu podem veure a temps real i simultàniament (pantalla dividida) la simulació de la percepció d'un dicròmata i un individu sense anomalies en la visió del color.</p>	<p>Android (mòbil i tablet) Apple (mòbil, tablet)</p>	<p>Gratuït</p>	
--	--	--	---	----------------	--

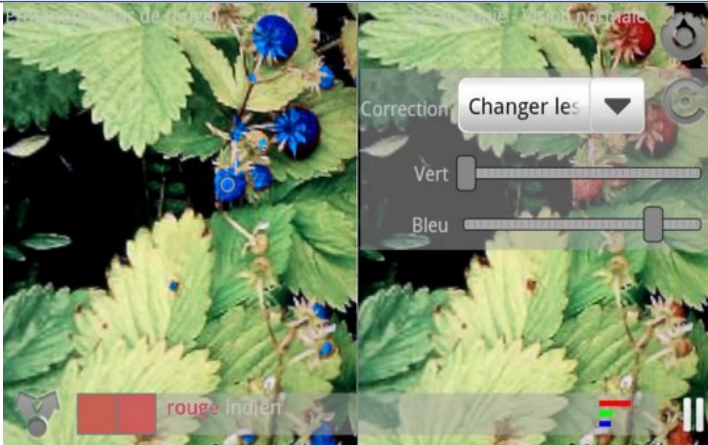

En primer lloc, en quant al simulador “Daltonizer”, destacar que només es troba disponible en dispositius Android. Llavors, a través del cercador d'aplicacions “Google Play” pots descarregar-la gratuïtament en mòbils i tablets i mostra les mateixes opcions i aparença en ambdós dispositius. Recordem que la qualitat de la imatge sempre dependrà de les característiques de la càmera i resolució de la pantalla (en funció de la qualitat del dispositiu) i que per poder comparar la funcionalitat d'aquesta s'ha de tenir en compte la saturació, contrast del dispositiu i la il·luminació de la sala. Evidentment, degut a que una tablet disposa d'una pantalla de més polzades serà més còmoda d'utilitzar per l'observador però no implica que els resultats siguin més adequats. Per a dispositius d'Apple existeix una versió equivalent anomenada “Idaltonizer” amb un cost de 2,99€ amb el mateix interfaç per mòbils i tablets. Aquesta versió però, és més completa. Disposada de més opcions com per exemple la possibilitat de personalitzar totalment la severitat i correcció de la discromatòpia (en %), funció de lupa per la imatge, flash, realitzar fotografies amb filtres, utilitzar-la a temps real o amb fotografia amb una pantalla dividida en quatre: visió normal, simulador, correcció i simulació corregida.

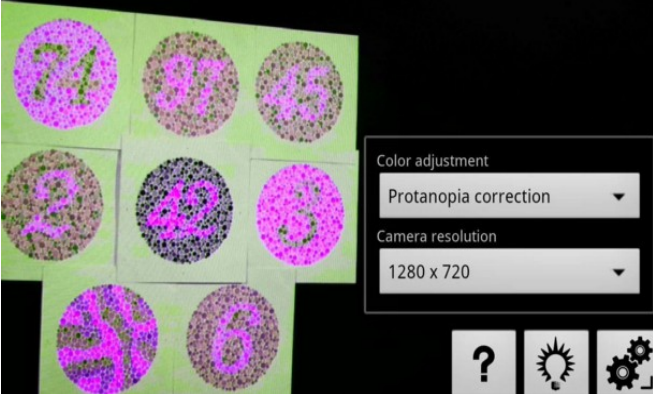
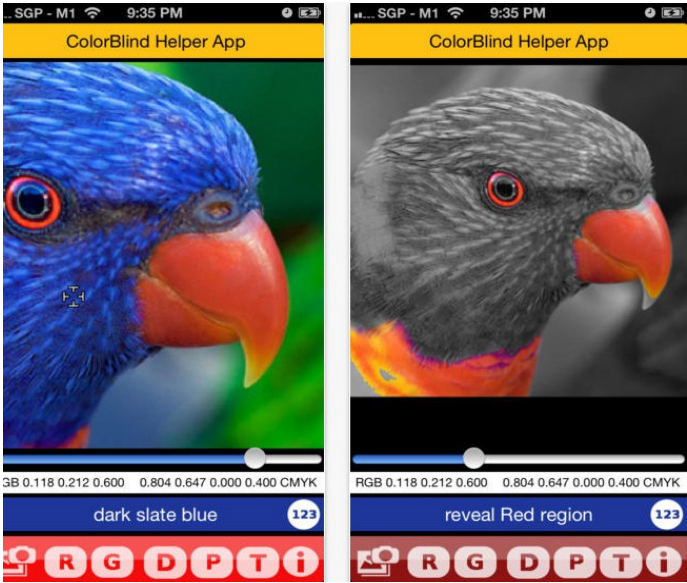
A diferència de l'anterior, l'avantatge principal de l'aplicació “Color blindness simulator” és que al ser *online* està disponible per qualsevol dispositiu amb connexió internet. Tot i així l'inconvenient principal és que no pots fer-la servir a temps real, és a dir, només funciona amb imatges i es regeix únicament a simular la percepció d'un tricròmata anòmal, un dicròmata o un monocròmata.

D'altra banda, “Color Blind Aid” actualitzada recentment (juny 2015), només es troba disponible al “Google Play”. L'avantatge principal és que funciona a temps real jugant amb la realitat augmentada i té aquesta doble finalitat: simulador i ajut i, a diferència de moltes altres aplicacions, et mostra el nom del color que apareix en pantalla i la composició RGB. Disposada de les mateixes prestacions tant en mòbil com tablet. Tal com he dit anteriorment no hi ha versió disponible per dispositius Apple encara que aquests disposen d'aplicacions similars amb les mateixes prestacions.

“Chromatic vision simulator” la poden descarregar els usuaris tant d'Android com d'Apple. A diferència de “Color blindness simulator”, no permet representar la percepció d'un monocròmata però sí dels tres tipus de dicròmates. El creador de l'aplicació remarca que no simula la visió de tricròmates anòmals i que quan simula una discromatòpia es limita a interpolar linealment la tonalitat dels colors sense tenir en compte el grau de severitat de la deficiència. De la mateixa manera que “Daltonizer”, permet treballar en una pantalla dividida en dues, tres o quatre imatges. També permet utilitzar la càmera del davant si el dispositiu ho permet i, a més a més, guardar la ubicació geogràfica d'on s'ha realitzat la fotografia. Tant en mòbils com en tablets el menú de l'aplicació presenta la mateixa aparença.

4.2. AJUDES PER PERSONES AMB DISCROMATÒPSIES

APP	OPCIONS	COM FUNCIONA?	DISPONIBILITAT	PREU	IMATGES
<i>Color Blindness Correction</i>	Aplicació que treballa amb la realitat augmentada millorant les imatges per a que puguin ser percebudes correctament per un discromatop.	A través de la càmera del dispositiu es processen les imatges amb l'objectiu que puguin ser percebudes per una persona amb deficiència cromàtica variant la tonalitat i vores. A més, disposa de l'opció de nomenclatura on t'anomena el color que hi apareix.	Android (mòbil i tablet) No compatible amb Apple	1.49€	
<i>Chromatic color helper</i>	Aplicació que treballa a temps real i captures d'escenes facilitant la diferenciació dels colors d'una imatge.	A través de la pantalla visualitzem una imatge que podem apropar-nos a qualsevol punt i ens descriu el nom del color que apareix. També mostra la composició de vermell, verd i blau que el forma. Disposa de l'opció de modificar el contrast de la imatge.	Apple (mòbil i tablet) No disponible per dispositius Android	Gratuït	

<p><i>Color Amplifier</i></p>	<p>Permet simular tot tipus de discromatòpsies i compensar-les.</p>	<p>A través d'una imatge a temps real i treballant amb realitat augmentada, utilitza uns filtres que varien les tonalitats de la imatge segons les preferències de l'usuari, permetent així la correcta percepció de formes que no es veuen. A més, també permet l'opció de simular les pròpies deficiències en la visió del color.</p>	<p>Android (mòbil i tablet)</p>	<p>Gratuït</p>	
<p><i>Color Blind Helper</i></p>	<p>Permet identificar el nom d'un color d'un píxel determinat d'una imatge i la composició RGB.</p>	<p>Amb un punter s'assenyala una regió de píxels per determinar el nom i composició d'un color. En la versió d'Apple també simula diferents discromatòpsies.</p>	<p>Android (mòbil i tablet) Apple (mòbil i tablet) No disponible per ordinadors</p>	<p>Gratuït</p>	

Dins el grup d'aplicacions per ajudar a reconèixer i anomenar els colors està l'aplicació "*Color Blindness Correction*" que, com algunes de les aplicacions anomenades anteriorment, seleccionant un punt de la imatge anomena el color que hi pareix. El problema que presenten totes les aplicacions que realitzen aquesta funció és que el to aparent d'un objecte varia en funció de la il·luminació de l'objecte *in situ*², però no la propietat intrínseca, llavors no són al cent per cent fiables. També destacar que només es troba disponible per dispositius Android.

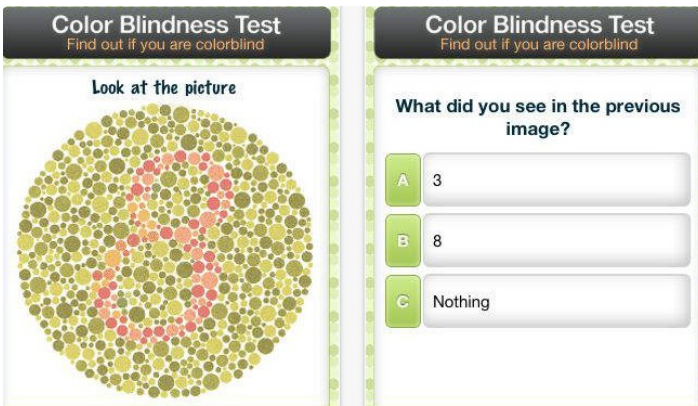
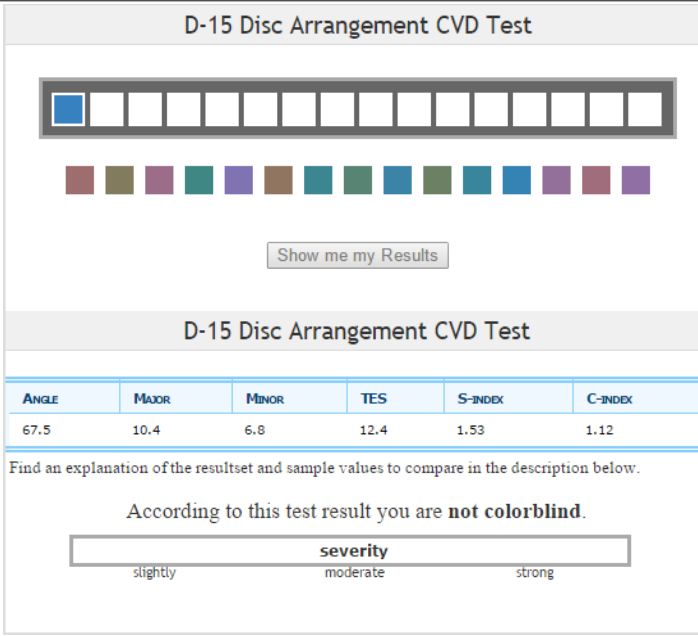
Una altra aplicació per facilitar la vida diària a una persona amb deficiències en la visió del color és "*Chromatic color helper*" que, igual que en l'aplicació anterior, sempre s'ha de tenir en compte la lluminositat de l'escena ja que pot variar els resultats. Presenta la mateixa aparença i opcions per mòbils i tablets.

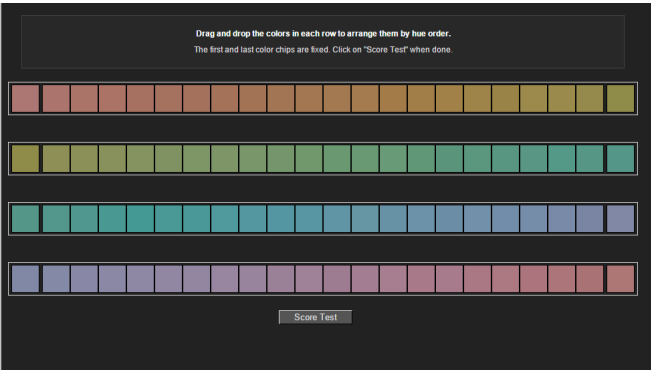

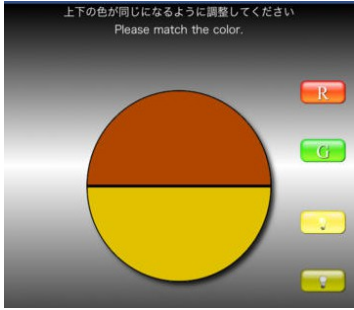
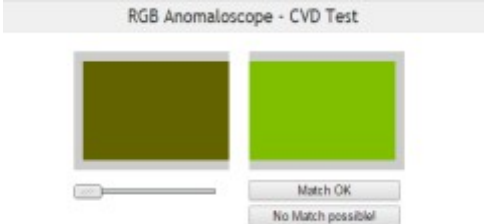
Molt similar a l'anterior, "*Color Blind Helper*" és una aplicació dissenyada per millorar la qualitat de vida d'una persona amb deficiència en la discriminació cromàtica. La base de dades d'aquesta aplicació conté aproximadament mil cinc-cents noms de colors. Aquesta aplicació gratuïta està disponible tant en dispositius Android com Apple, tot i que en aquests últims, l'aplicació té el mateix nom i les mateixes característiques però varia la seva aparença de menú, icona, etc. A diferència de l'aplicació anterior no treballa a temps real, només en imatges.

D'altra banda, "*Color Amplifier*" es troba disponible gratuïtament únicament per dispositius Android. A diferència de moltes de les anteriors no permet graduar la severitat de la deficiència i és limita a simular i corregir les dicromatòpsies.

2 *In situ*: En el mateix lloc de què es tracta.

4.3. TESTS DE DIAGNÒSTIC

APP	OPCIONES	COM FUNCIONA?	DISPONIBILITAT	PREU	IMATGES
<i>Color Blindness test</i>	Diagnosticar protanops i deuteranops basant-se amb el test Ishihara de làmines pseudoisocromàtiques.	Es presenten diferents pantalles que formen figures amb punts de colors i l'observador ha de reconèixer les figures que hi apareixen. Segons els errors i les confusions s'arriba a un diagnòstic del tipus de discromatòpsia. Un tricròmata normal veurà totes les formes correctament.	Android i Apple (ordinador, tablet i mòbil)	Gratuït	
<i>Color Arrangement test</i>	Basat amb el test de Farnsworth-Munsell D-15. Diagnosticar tipus de discromatòpsia: protan-, deuteran-, tritan-.	Apareixen quinze colors amb el primer col·locat i l'observador ha d'ordenar-los intuïtivament. Finalment, l'aplicació et mostra si les respostes coincideixen amb un patró establert d'una discromatòpsia i juntament amb un seguit de paràmetres (angle de confusió, radi major i menor, puntuació total i índex) arriba a un diagnòstic del tipus i severitat d'aquesta.	Android i Apple (ordinador-online)	Gratuït	

Online Color Challenge	Diagnosticar tipus de discromatòpsia: protan-, deuteran-, tritan-.	L'observador ha d'ordenar intuïtivament els colors segons la tonalitat. Et demana l'edat i sexe, i compara els resultats amb una base de dades per fer un diagnòstic de la discromatòpsia i grau de severitat.	Android i Apple (ordinador-online)	Gratuït	
			Apple (mòbil) App equivalent: How well do you see color?)	1,99€	
Anomaloscope	Diagnosticar defectes en la discriminació cromàtica tipus protan-, deuteran-, tritan-.	Apareixen dos quadres. Un de referència amb un color i l'altre que l'observador ha d'intentar igualar amb un comandament variable de tonalitat. Segons la quantitat d'un color o un altre que han utilitzat per igualar els dos quadres s'identifica la discromatòpsia. Cal destacar que degut a la variabilitat de les condicions de contrast, saturació, etc. els resultats no són molt fiables.	Android (mòbil i tablet) App equivalent: Eye color test	Gratuït	
			Apple (mòbil i tablet) Anomaloscope	3.99€	
			Ordinador-online App equivalent: RGB Anomaloscope	Gratuït	

En el cas d'aquest tipus d'aplicacions la seva finalitat principal és el diagnòstic. Amb l'evolució de les tecnologies s'han digitalitzat els tests més comuns emprats en clínica com per exemple l'Ishihara, l'anomaloscopi, el test de Farnsworth-Munsell, etc. Cal remarcar que el resultat obtingut en una eina d'aquestes característiques mai pot substituir una visita a un especialista en ciències de la visió ja que els resultats es poden veure falsejats per múltiples factors com el contrast de les pantalles, la saturació, luminància i fins i tot la il·luminació ambiental.

Un dels molts exemples de la digitalització del test de làmines pseudoisocromàtiques Ishihara, és l'aplicació "*Color blindness test*". Hi ha moltes aplicacions d'aquestes característiques però totes segueixen el mateix patró, tant per dispositius Android (ordinadors, tablets i mòbils) com per Apple. En aquest cas, hi ha diverses aplicacions que fins hi tot tenen el mateix nom però provenen de creadors diferents i presenten una interfície diferent. La gran majoria són gratuïtes, tot i que n'hi ha algunes que no. S'ha de tenir molta cura de la configuració de les pantalles ja que el que garanteix la fiabilitat de la prova és la tonalitat dels colors (que passen per sobre de les línies de confusió dels patrons de discromatòpsies).

Una aplicació que simula gratuïtament el test de Farnsworth-Munsell D15 *online* és "*Color Arrangement test*". Igual que en els casos anteriors, és fonamental la configuració de la pantalla ja que només amb un canvi d'angle d'observació (varia el contrast) ja es poden falsejar els resultats. Teòricament el test tradicional és limitat a fer un cribatge, no identifica el grau de severitat de la deficiència de discriminació, en canvi aquesta aplicació sí. Tenint en compte totes les característiques variables de la pantalla i que la base del diagnòstic prové únicament de 15 tonalitats podríem dir que no és molt fiable. L'avantatge principal d'aquesta aplicació és que es pot utilitzar des de qualsevol dispositiu amb connexió a internet.

Similar a l'anterior però basat amb el test de Farnsworth-Munsell 100 està l'aplicació "*Online Color Challenge*". Aquesta aplicació es troba gratuïtament a internet, però els mòbils i tablets d'Apple tenen una versió "*How well do you see color?*" per 1,99€. En el cas de l'aplicació *online*, els resultats es basen en l'ordenació de vuitanta-vuit tonalitats, mentre que la versió d'Apple únicament en cinquanta. Tots dos fan el diagnòstic del tipus de discromatòpsia i grau de severitat d'aquesta. La fiabilitat no és molt alta ja que utilitzen menys tonalitats de colors que el test tradicional a més de tots els factors externs que poden haver influenciat en el diagnòstic.

Entre molts dels tests digitalitzats també es troba l'anomaloscopi. Igual que en el test tradicional, apareix un quadre amb un color de referència i un quadre on l'observador movent un comandament que varia la tonalitat, ha d'intentar igualar-lo. Per dispositius Android es troba gratuïtament l'aplicació "*Eye color test*" que, a més de la funció d'anomaloscopi també té l'opció de test d'agudeses visual, astigmatisme, verd/vermell, etc. Aquesta versió en concret no segueix el patró exacte d'un anomaloscopi, sinó que mostra una quadrícula on només un quadre té diferent tonalitat que la resta i l'observador l'ha d'identificar. Cada cop la diferència de tonalitat és inferior i per tant, és més difícil de reconèixer. La versió d'Apple "*Anomaloscope*" segueix el patró tradicional d'un cercle dividit en dos, un de referència i un per igualar la tonalitat. Aquesta aplicació només està disponible en japonès i per 3.99€. Per ordinadors, *online* i gratuïta, hi ha una aplicació equivalent anomenada "*RGB Anomaloscope*" que a més de donar-te l'opció d'igualar també hi ha la possibilitat de "no s'igualen" ambdós quadres. Després d'un seguit de presentacions, arriben a un diagnòstic sigui un observador protanop, deuteranop o tritanop i la severitat del problema.

5. CONCLUSIONS

Una persona amb discromatòpsia presenta una absència d'algun dels tres fotopigments existents en la retina o alguna anomalia d'aquests, fet que provoca una discriminació cromàtica deficient o distorsionada. Aquests individus es veuen limitats a l'hora de realitzar tasques domèstiques i fins hi tot en alguns casos en l'àmbit professional si aquest ho requereix. Els impediments que redueixen la qualitat de vida d'aquests observadors, han impulsat el desenvolupament d'aplicacions per dispositius mòbils relacionades amb aquesta deficiència amb objectius diferents. En un principi podem dir que tot el que sigui facilitar la vida a una persona amb discromatòpsia, ajudar als professionals a diagnosticar aquestes deficiències i entendre com veuen el món aquests individus, representa un avenç. Tot i així, s'ha de tenir en compte els múltiples factors que poden alterar els resultats de les aplicacions, disminuir la seva fiabilitat, etc. De la mateixa manera que els tests tradicionals s'han de presentar al pacient sota unes condicions determinades, les aplicacions estan dissenyades per ser eficients sota unes característiques concretes de la pantalla, posició de l'observador i il·luminació de la sala. És molt difícil que tots els usuaris de dispositius mòbils disposin d'una pantalla amb contrast, saturació, il·luminació etc, calibrada per la qual va ser dissenyada l'aplicació. Aquest fet disminueix l'eficàcia de les aplicacions i conseqüentment els resultats es poden veure falsejats. La majoria dels tests tradicionals es presenten en condicions de llum dia. De forma oposada, en funció de la inclinació del raig incident en la pantalla es genera reflexes que en varien el contrast. La posició de l'observador respecte la pantalla també modifica aquestes condicions, així com la saturació d'aquesta, etc. Tot i que aquests factors de risc poden perjudicar els resultats, és interessant conèixer aquests recursos a l'hora de treballar, diagnosticar i millorar la vida de persones amb anomalies en la visió del color.

Justament pels motius esmentats anteriorment, un cribatge d'una aplicació no pot substituir mai una revisió completa d'un professional de la visió ja que aquests treballaran sota un criteri comú establert i avaluaran altres aspectes que també es poden veure afectats.

Existeixen milers d'aplicacions envers aquest tema, però dins dels mateixos grups pels quals s'han classificat (simuladors, ajuts i tests) no totes presenten les mateixes prestacions i moltes es veuen limitades per la mateixa qualitat de la càmera del dispositiu (input³ del dispositiu mòbil) i la pròpia pantalla (output⁴ del dispositiu mòbil). Cal destacar que en alguns casos, en funció del dispositiu pel qual ha estat dissenyada l'aplicació (Android, Apple, *online*) i a criteri del creador, és gratuïta o no, i una mateixa aplicació descarregada en diferents dispositius (mòbil, tablet, ordinador) poden presentar diferents interfícies.

Entre el recull realitzat i tenint en compte les característiques de les aplicacions i la pròpia experiència, un simulador força complet és la versió d'Apple "*Idaltonizer*". És l'aplicació que disposa de més funcions a l'hora de simular les discromatòpsies però no és gratuïta (2.99€). Permet graduar la severitat de la disfunció de discriminació, augmentar la imatge si és necessari i és compatible amb l'utilització de flash (quan la il·luminació no és suficient i el dispositiu ho comporta) i fins i tot permet introduir filtres a les imatges. Igual que la majoria de simuladors, presenta una pantalla dividida on apareix la imatge a temps real o amb fotografies d'una escena observada per un tricròmata normal, i fins a tres divisions més on pots veure la simulació d'una discromatòpsia, el filtre corrector, i la simulació corregida.

En quant a aplicacions amb l'objectiu d'ajudar als individus amb problemes en la visió del color, destacaríem "*Color Blindness Correction*" (només disponible en dispositius Android amb un cost d'1.49€). És l'aplicació més completa ja que permet treballar a temps real (algunes no ho suporten) i variar gradualment els filtres correctors així com destacar les vores del objectes.

3 *Input*: dispositiu d'entrada d'informació en un sistema electrònic.

4 *Output*: dispositiu mitjançant el qual es mostra una informació processada per un sistema electrònic.

Aquestes dues opcions són molt útils ja que com s'ha esmentat anteriorment, existeixen diferents graus de severitat de deficiències. Una variació de contrast augmenta la discriminació de les vores, i per tant, permet reconèixer més fàcilment el contorn de les formes presentades. També anomena el color que apareix en una regió seleccionada de la pantalla encara que, com totes les aplicacions d'aquestes característiques, existeix un marge d'error davant les condicions d'il·luminació de l'objecte i la qualitat de la càmera del dispositiu.

Finalment, el test digitalitzat que considero més complet i a l'abast de tothom és l'aplicació "*Online Color Challenge*". Deixant de banda que és gratuïta i pot utilitzar-se des de qualsevol dispositiu amb connexió Internet, et dona una idea de referència de la discromatòpsia i grau de severitat de l'observador. El fet que per fer el diagnòstic utilitza un número major de tonalitats que "*Color Arrangement test*", considero que n'augmenta lleument la fiabilitat. A més a més disposa d'una base de dades per comparar-ne els resultats segons l'edat i el sexe de l'individu. Ja per acabar, insisteixo en l'alt risc de falseig dels resultats degut a tots els factors que poden variar el to del color pel qual ha estat dissenyada l'aplicació.

6. BIBLIOGRAFIA I RECURSOS ELECTRÒNICS

DOCUMENTACIÓ

Coca, I. *Evaluación de las estrategias de adaptación a disfunciones de la visión del color*. Terrassa: UPC. Juny 2012.

Colblindor, D. *Color Blind Essentials*. 10 d'Octubre 2015, <http://www.color-blindness.com/articles/>

Richmond, P. *Deficiencia de la visión en color*. Albuquerque: Octubre 2010.

Soto, M. *Estudi sobre aplicacions per a dispositius mòbils per a subjectes amb discromatòpsia*. Terrassa: UPC. Juny 2014.

Urtubia, C. *Neurobiología de la visión*. Barcelona: Edicions UPC. 1997. ISBN: 84-8301- 163-8.

IMATGES

Figura 1, 16 d'Octubre 2015, [http://hyperphysics.phy-](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/colch)

[astr.gsu.edu/hbasees/vision/colch](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/colcon.html)<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/vision/colcon.html>

Figura 2, 17 d'Octubre 2015, Urtubia, C. *Neurobiología de la visión*. Barcelona: Edicions UPC. 1997. ISBN: 84-8301- 163-8.

Figura 3, 17 d'Octubre 2015, Urtubia, C. *Neurobiología de la visión*. Barcelona: Edicions UPC. 1997. ISBN: 84-8301- 163-8.

Figura 4, 17 d'Octubre 2015, Urtubia, C. *Neurobiología de la visión*. Barcelona: Edicions UPC. 1997. ISBN: 84-8301- 163-8.

Figura 5, 18 d'Octubre 2015, Urtubia, C. *Neurobiología de la visión*. Barcelona: Edicions UPC. 1997. ISBN: 84-8301- 163-8.

Ishihara, 18 d'Octubre 2015,

<http://www.somersault1824.com/tips-for-designing-scientific-figures-for-color-blind-readers/ishihara-test-color-blindness-disease-perception-test-2/>

Ohkuma, 18 d'Octubre 2015,

<http://vision.psychol.cam.ac.uk/jdmollon/papers/ReganReffinMollonCambridgeColourTest.pdf>

City University Colour Vision Test, 13 d'Octubre 2015,

<http://cmc1bccf.blogspot.com.es/2013/05/prueba-de-city-university-colour-vision.html>

Tritan Album Lanthony, 14 d'Octubre 2015,

<http://www.akriti.co.in/products.php?cd=643&itd=105910>

Farnsworth-Munsell D15, 14 d'Octubre 2015,

http://www.idd.tu-darmstadt.de/re_search/equipm/color_lab/index.en.jsp#textoptmbild

Farnsworth-Munsell 100, 14 d'Octubre 2015,

http://www.idd.tu-darmstadt.de/re_search/equipm/color_lab/index.en.jsp#textoptmbild

Standard Pseudoiso-chromatic Plates, 15 d'Octubre 2015,

<https://www.scripps.org/articles/2250-color-vision-test>

Anomaloscopi, 15 d'Octubre 2015,

<https://www.genop.co.za/pages/ophthalmic/diagnostic-instruments/diagnostic/oculus/oculus-hmc-anomaloscope.php>

Llanterna de Farnsworth, 16 d'Octubre 2015,

<http://www.deviceoptical.com/pd-farnsworth-lantern-flashlight.cfm#.VitfmPnhCUk>

APLICACIONS

SIMULADORS:

Daltonizer, 20 d'Octubre de 2015,

<https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.nghs.android.cbs&hl=ca>

Idaltonizer, 20 d'Octubre de 2015, <http://www.idaltonizer.com/>

Color Blindness Simulator, 20 d'Octubre de 2015,

<http://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/>

Color blind Aid, 20 d'Octubre de 2015,

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sennikpower.blindcolor>

Chromatic Vision Simulator, 21 d'Octubre de 2015,

<http://www.mobomarket.net/download-chromatic-vision-simulator-for-android-4294302128.html>

<https://itunes.apple.com/us/app/chromatic-vision-simulator/id389310222?mt=8>

<http://asada.tukusi.ne.jp/cvsimulator/e/about.html>

AJUTS

Color Blindness Correction, 22 d'Octubre de 2015,

<https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.nghs.android.cbs.enhancer&hl=ca>

Chromatic color helper, 22 d'Octubre de 2015,

<https://itunes.apple.com/mx/app/chromatic-color-helper/id541379161?mt=8>

Color Amplifier, 23 d'Octubre de 2015,

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.anmipo.android.coloramplifier&hl=ca>

Color Blind Helper, 23 d'Octubre de 2015,

<https://itunes.apple.com/id/app/colorblind-helper/id557094938?mt=8>

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.beanslab.colorblindhelper.helper&hl=ca>

DIAGNÒSTIC

Color Blindness test , 24 d'Octubre de 2015,

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cherryCode.daltonismo>

<https://itunes.apple.com/us/app/color-blindness-test-by-enchroma/id579411992?mt=8>

Color Arrangement test , 26 d'Octubre de 2015,

<http://www.color-blindness.com/color-arrangement-test/>

Online Color Challenge, 26 d'Octubre de 2015,

<http://www.xrite.com/online-color-test-challenge> i <https://itunes.apple.com/us/app/how-well-do-you-see-color/id465645988?mt=8>

Anomaloscopi, 27 d'Octubre de 2015,

<http://www.color-blindness.com/rgb-anomaloscope-color-blindness-test/>

<https://itunes.apple.com/uy/app/anomaloscope/id393462517?mt=8>

<https://play.google.com/store/apps/details?id=eye.color.test>

7. ANNEXES

7.1. PARAULES CLAU

- anomaloscope
- anomaloscopio
- app optometrist
- chromatic color helper
- color blindness
- color blindness correction
- color blindness helper
- color blindness simulator
- color blindness test
- colour test
- daltonismo
- farnsworth-munsell
- free simulator color blindness
- free vision colour tests
- ishihara
- optometria
- optometrist
- test de color
- visual test